

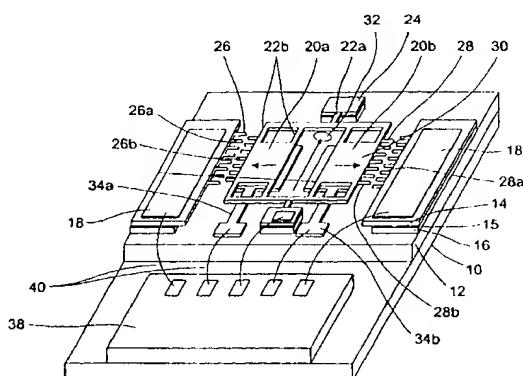
(51) Internationale Patentklassifikation ⁷ : G01C 19/56		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/19169
			(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 6. April 2000 (06.04.00)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/07205		(81) Bestimmungsstaaten: US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(22) Internationales Anmeldedatum: 29. September 1999 (29.09.99)			
(30) Prioritätsdaten: 198 44 686.1 29. September 1998 (29.09.98) DE			
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).			
(72) Erfinder; und			
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHMID, Rainer [DE/DE]; Saleggstrasse 11, D-81547 München (DE).			
(74) Anwalt: SCHOPPE, Fritz; Schoppe, Zimmermann & Stöckeler, Postfach 71 08 67, D-81458 München (DE).			

(54) **Title:** MICROMECHANICAL ROTATION RATE SENSOR AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME

(54) **Bezeichnung:** MIKROMECHANISCHER DREHRATENSOR UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG

(57) Abstract

According to the inventive method for producing a micromechanical rotation rate sensor, a wafer stack arrangement is used wherein a substrate wafer arrangement (12, 16) is connected to a structural wafer arrangement (14, 18) by an insulating connecting layer (15). The required thickness of the structural wafer arrangement (14, 18) is achieved by thinning it out, and the structural wafer arrangement is then structured in order to define at least one seismic mass (20), a suspension device (24) and a spring device (22a, 22b) which connects the seismic mass to the suspension device. The connecting layer acts as an etch stop for a dry-etching method in which the structural wafer arrangement is structured. In a subsequent further dry-etching step, the connecting layer is selectively removed in such a way that the seismic mass can perform an excitation oscillation and the seismic mass or parts thereof can carry out a detection oscillation as a result of a Coriolis force in relation to the substrate wafer arrangement. The wafer stack arrangement makes it possible to e.g. integrate a monolithic circuit into the substrate wafer before the wafers are connected and to apply a metallic coating to the substrate wafer. Said metallic coating can also be structured before the wafers are connected, in order to produce e.g. detection electrodes for a capacitive detection method.



(57) Zusammenfassung

Bei einem Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Drehratensensors wird eine Waferstapelanordnung eingesetzt, bei der eine Substratwaferanordnung (12, 16) mittels einer isolierenden Verbindungsschicht (15) mit einer Strukturwaferanordnung (14, 18) verbunden wird. Durch Abdünnen der Strukturwaferanordnung (14, 18) wird die erforderliche Dicke der Strukturwaferanordnung eingestellt, woraufhin die Strukturwaferanordnung strukturiert wird, um zumindest eine seismische Masse (20), eine Aufhängung (24) und eine Federeinrichtung (22a, 22b) zu definieren, die die seismische Masse mit der Aufhängung verbindet. Die Verbindungsschicht wirkt als Ätzstopf für ein Trockenätzschritt, bei dem die Strukturwaferanordnung strukturiert wird. In einem anschließenden weiteren Trockenätzschritt wird selektiv die Verbindungsschicht entfernt, derart, daß die seismische Masse eine Anregungsschwingung und die seismische Masse oder Teile davon eine Erfassungsschwingung aufgrund einer Corioliskraft relativ zu der Substratwaferanordnung durchführen kann. Durch die Waferstapelanordnung ist es möglich, vor dem Waferverbinden z.B. eine monolithische Schaltung in den Substratwafer zu integrieren und eine Metallisierung auf den Substratwafer aufzubringen, die ebenfalls vor dem Verbinden der Wafer strukturiert werden kann, um beispielsweise Erfassungselektroden für ein kapazitives Erfassungsverfahren zu bilden.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

- 1 -

MIKROMECHANISCHER DREHRATENSOR UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG

BESCHREIBUNG

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Sensoren und insbesondere auf mikromechanische Drehratensensoren und Verfahren zur Herstellung derselben.

Mikromechanische Drehratensensoren sind seit längerem bekannt. Sie bestehen aus einer oder mehreren mikromechanisch strukturierten seismischen Schwingmassen, die einer gesteuerten periodischen Bewegung (Anregungsbewegung) in einer Ebene (Anregungsschwingungsebene) unterworfen sind. Diese seismischen Schwingmassen sind derart strukturiert und befestigt, daß sie oder Teile derselben in einer Ebene senkrecht zur Anregungsschwingungsebene ebenfalls beweglich aufgehängt sind. Diese Ebene wird als Detektionsebene bestimmt. Dieselben umfassen ferner eine Detektionseinheit, die eine Auslenkung der Schwingmasse bzw. der Schwingmassen oder Teilen derselben in der Detektionsebene aufnimmt.

Die Auslenkung in der Detektionsebene kommt entweder aufgrund der Corioliskraft F_C auf die bewegten Schwingmassen bei Linearschwingern zustande, oder aufgrund der Drehimpulserhaltung bei Rotationsschwingern. In die Auslenkung geht die Rotationsgeschwindigkeit Ω , die auch als Drehrate bezeichnet wird, und die Geschwindigkeit der Anregungsbewegung (v oder ω) ein. Die Auslenkung ist senkrecht zur ursprünglichen Anregungsbewegung gerichtet. Die Erfassungs- oder Detektionseinheit kann somit das Aufzeichnen der Bewegung in der Detektionsebene auf eine Rotationsgeschwindigkeit bzw. Drehrate des Sensors zurückführen:

$$F_C = 2mv \times \Omega$$
$$M = \Theta\omega \times \Omega$$

Die Besonderheit von Sensoren zur Erfassung von Drehraten beispielsweise gegenüber Beschleunigungssensoren liegt in dem Erfordernis einer Anregungsbewegung der seismischen Schwingmassen, was bei Beschleunigungssensoren selbstverständlich nicht nötig ist. Die Drehrate kann nur indirekt über die Geschwindigkeit bzw. Rotationsgeschwindigkeit der zusätzlichen Anregungsbewegung gemessen werden, welche aber keinen weiteren Einfluß auf die Erfassung haben sollte. Dies erfordert eine große Anzahl von Bewegungsfreiheitsgraden der Anordnung.

Verschiedene Herstellungstechniken und deren Randbedingungen schränken die Realisierungsmöglichkeiten der Strukturen ein, so daß die Anordnung auf die verwendete Herstellungstechnologie abgestimmt werden muß. Die Herstellungstechnologie muß daher kompatibel zur komplexen Struktur des gesamten Drehratensensors sein.

Im Stand der Technik sind verschiedene Realisierungsprinzipien in Verbindung mit unterschiedlichen Herstellungstechniken bekannt.

So zeigt die DE 195 00 800 Drehratensensoren, welche zwei linear gegeneinander schwingende Massen aufweisen. Die Massen sind dabei aus einem auf ein Substrat epitaktisch aufgewachsenen Polysilizium herausstrukturiert.

Die DE 195 23 895 zeigt Drehratensensoren als Rotationschwinger, welche die Drehimpulserhaltung ausnutzen. Dieselben werden auf ähnliche Art und Weise, wie sie in der DE 195 00 800 beschrieben ist, hergestellt.

Die DE 195 28 961 zeigt Drehratensensoren in Form einer Stimmgabel, wobei die beiden Zinken aus unterschiedlichen Wafern strukturiert und anschließend zum Sensor zusammenge setzt werden.

Die WO 98/15799 offenbart Drehratensensoren mit entkoppelten orthogonalen Primär- und Sekundärschwingern, die mittels mikromechanischer Prozesse, Oberflächenmikromechaniktechnologien oder auf ähnliche Art und Weise, wie sie in der DE 195 00 800 beschrieben ist, hergestellt werden können.

Die bekannten Herstellungsverfahren weisen eine Reihe von Nachteilen auf. Wenn die Oberflächenmikromechanik zur Strukturierung der schwingenden Massen, der Biegebalken und Torsionsfedern und der Aufhängungen auf aufgewachsenes Polysilizium angewendet wird, entstehen Spannungen im mikromechanischen Element, welche durch das epitaktisch aufgewachsene Polysilizium bewirkt werden. Diese Spannungen führen zu einem veränderten mechanischen Verhalten.

Epitaktisch aufgewachsenes Polysilizium kann ferner nur bis zu einer bestimmten Höhe hergestellt werden, wodurch das Sensorelement auf eine bestimmte Höhe begrenzt ist. Damit besteht keine ausreichende Freiheit zur Bestimmung eines optimalen Aspektverhältnisses von Strukturen, was sich nachteilig auf die Dimensionierung, das Sensorauflösungsvermögen und die Störempfindlichkeit des mikromechanischen Drehratensensors auswirken kann.

Epitaktisch aufgewachsenes Polysilizium ist ferner Alterungsprozessen vor allem bei ständiger mechanischer Belastung unterworfen, wodurch sich die Eigenschaften des mikromechanischen Drehratensensors über der Zeit nachteilig verändern können. Ein solcher mikromechanischer Drehratensensor altert.

Die DE 195 28 961 offenbart zur Herstellung von Drehratensensoren in Form einer Stimmgabel, daß die Schwingmassen des Drehratensensors aus mehreren in Bulk-Mikromechanik vorprozessierten SOI-Wafern hergestellt werden und anschließend zu Sensoren verbunden werden. Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens besteht in der unzureichend genauen Justierung der Zinken der Gabel gegeneinander, und dem hohen Aufwand

zum Abgleich der mechanischen Eigenschaften. Ein weiterer Nachteil besteht in der Benutzung von Bulk-Mikromechanik-technologien zur Strukturierung der Zinken, wodurch die Möglichkeiten zur Dimensionierung der Strukturen stark eingeschränkt sind.

Die DE 195 26 903 A1 offenbart einen Drehratensor, der aus einem mehrschichtigen Substrat, das eine untere Siliziumschicht und eine obere Siliziumschicht aufweist, gebildet ist. Zwischen den beiden Siliziumschichten befindet sich eine isolierende Opferschicht. Die untere Siliziumschicht ist als Siliziumwafer ausgeführt, auf dem als Opferschicht eine Siliziumoxidschicht, eine Siliziumnitridschicht oder Glas aufgebracht ist. Die obere Siliziumschicht wird durch Abscheiden aus einem Plasma oder durch Bonden eines weiteren Siliziumwafers mit der Opferschicht erzeugt. Die obere Siliziumschicht kann polykristallines, einkristallines oder eine Mischung eines poly- und einkristallinen Siliziummaterials aufweisen.

Die Fachveröffentlichung von A. Benitez, u.a. mit dem Titel "Bulk Silicon Microelectromechanical Devices Fabricated from Commercial Bonded and Etched-Back Silicon-on-Insulator Substrates", Sensors and Actuators, A 50 (1995), S. 99-103 offenbart sogenannte BESOI-Substrate. BESOI steht für "bonded and etched-back silicon-on-insulator". Ein BESOI-Substrat wird folgendermaßen hergestellt. Ein Ausgangssubstrat aus Silizium wird mit einer Zwischensiliziumdioxidschicht versehen. Auf diese Zwischensiliziumdioxidschicht wird ein weiterer Siliziumwafer mittels Waferbonden oder mittels Waferfusion aufgebracht, woraufhin einer der beiden Siliziumwafer auf die gewünschte Dicke rückgeätzt wird. Die zwischen den beiden Wafers vorhandene Siliziumdioxidschicht kann als Opferschicht verwendet werden, um elektrostatische Mikromotoren, Mikroturbinen und elektrostatisch betätigtes Mikrorelais herzustellen.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein

- 5 -

Konzept für preisgünstig herstellbare mikromechanische Drehratensensoren zu schaffen, das zusätzlich eine große Entwurfsfreiheit ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch einen mikromechanischen Drehratensensor gemäß Anspruch 1 und durch ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Drehratensensors gemäß Anspruch 14 gelöst.

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß sie mikromechanische Drehratensensoren aus geeignetem Material liefert, bei denen eine sehr große Entwurfsfreiheit existiert, ohne daß die Strukturen abgeglichen werden müssen.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß von dem Konzept des einstückigen Drehratensensors, der aus einem einzigen Wafer mit epitaktisch aufgewachsenem Polysilizium oder mit einer SOI-Struktur hergestellt ist, weggegangen werden muß, um eine optimale Entwurfsfreiheit und eine preisgünstige Herstellbarkeit zu erreichen. Ein erfindungsgemäßer mikromechanischer Drehratensensor umfaßt daher eine Substratwaferanordnung, eine Strukturwaferanordnung, in der wenigstens eine seismische Masse, deren Aufhängung und mindestens eine Federeinrichtung zum Verbinden der Aufhängung mit der seismischen Masse definiert sind, und eine isolierende Verbindungsschicht, die die Substratwaferanordnung mit der Strukturwaferanordnung mechanisch verbindet, derart, daß die seismische Masse eine Anregungsschwingung, und die seismische Masse oder Teile davon eine Erfassungsschwingung aufgrund einer Drehrate relativ zu der Substratwaferanordnung ausführen kann.

Der erfindungsgemäße mikromechanische Drehratensensor basiert somit auf einer Waferstapelanordnung, wodurch es möglich ist, die Waferanordnung für das Substrat und für den Drehratensensor, sowie dessen Materialien völlig unabhängig voneinander zu wählen, und wodurch zusätzlich die Möglich-

keit gegeben ist, die Wafer vor der Verbindung teilweise vorzuprozessieren. Im Gegensatz zu SOI-Substraten oder Substraten mit aufgewachsenem Polysilizium ist die Dicke der Strukturschicht, d. h. der Federn, der seismischen Massen usw., völlig frei wählbar, indem einfach ein Wafer mit erwünschter Dicke ausgewählt wird und mittels der Verbindungs- schicht, die aus einem Polymer oder einem anderen organischen Material sein kann, auf die Substratwaferanordnung geklebt wird, oder ein Strukturwafer über die Verbindungs- schicht mit dem Substratwafer verbunden wird, der anschließend auf die gewünschte Höhe eingestellt wird. Die Verbindungsschicht hat ferner den Vorteil, daß sie als Ätzstoppschicht für die Strukturierung und als Opferschicht, um freistehende Strukturen zu erhalten, verwendet werden kann.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel mit kapazitiver Erfassung der Bewegung der seismischen Masse aufgrund der Corioliskraft umfaßt die Substratwaferanordnung eine Metallisierung, die strukturiert ist, um zumindest die Erfassungselektroden aufzuweisen. Die Metallisierung kann ohne Probleme auf einen Halbleiterwafer aufgebracht werden, bevor der metallisierte Wafer über die Verbindungsschicht mit dem Strukturwafer verbunden wird. Damit ist es möglich, die Komplexität der Anordnung zu verringern, da nicht darauf geachtet werden muß, daß alle Elektroden oben auf der Struktur sind, wie es beispielsweise bei SOI-Drehratensensoren der Fall sein kann.

Die Schicht- bzw. Waferstapelanordnung führt zu einer Anordnung, die optimal ist für die Benutzung von geeignetem Material, die Strukturierung der Elemente und die Plazierung, Dimensionierung und Aufbringung der Strukturen sowie die Verwendung von geeigneten Anregungs- und Detektionseinheiten. Die Waferstapelanordnung erlaubt größtmögliche Freiheit bezüglich einer Gestaltung der Drehratensensoren und unterschiedlichen Erfassungseinheiten. Die Anregungsschwingung kann dabei durch verschiedene Methoden angeregt werden, wie

z. B. piezoelektrische, elektrostatische, elektromagnetische, elektrothermische, induktive oder thermomechanische Methoden. Die Erfassung des Meßeffekts kann ebenfalls durch verschiedene Detektionseinheiten realisiert werden, von denen z. B. die piezoresistiven, die kapazitiven, die induktiven, die optischen, die piezoelektrischen und die thermomechanischen zu nennen sind. Bei Drehraten mit verschiedenen Anregungs- und Erfassungseinheiten kann die Anregungsschwingung als Linearschwingung, als Rotationsschwingung oder als Torsion realisiert sein. Ebenso kann für die Erfassung eine lineare Auslenkung bzw. Schwingung, eine Rotationsschwingung oder eine Torsion genutzt werden.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detaillierter erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines erfindungsgemäßen Drehratensensors;

Fig. 2 eine Darstellung zur Verdeutlichung der Herstellung eines erfindungsgemäßen Drehratensensors;

Fig. 3 eine Querschnittsansicht eines erfindungsgemäßen Drehratensensors mit vergrabenen Elektroden;

Fig. 4 eine Querschnittsansicht eines erfindungsgemäßen Drehratensensors mit monolithisch integrierter Schaltung;

Fig. 5 eine Draufsicht auf die Strukturwaferanordnung eines erfindungsgemäßen Drehratensensors;

Fig. 6 eine Draufsicht auf die Strukturwaferanordnung eines anderen erfindungsgemäßen Drehratensensors;

Fig. 7 eine Querschnittsansicht eines Teils eines erfindungsgemäßen Drehratensensors zur Darstellung einer

Metallisierungsverbindung;

Fig. 8 eine Querschnittsansicht eines erfindungsgemäßen Drehratensensors zur Darstellung einer alternativen Metallisierungsverbindung;

Fig. 9 eine Draufsicht auf die Strukturwaferanordnung eines weiteren Drehratensensors, der gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt werden kann; und

Fig. 10. eine Querschnittsansicht eines erfindungsgemäßen Drehratensensors mit einem Deckelwafer.

In Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßer Drehratensensor gezeigt, der auf einem Schaltungssubstrat 10, das aus Keramik bestehen kann, aufgebracht ist. Der Drehratensensor umfaßt eine Substratwaferanordnung 12 und eine Strukturwaferanordnung 14, die mittels einer Verbindungsschicht 15 verbunden sind, wobei die Substratwaferanordnung ferner eine optionale Metallisierung 16 umfaßt, während die Strukturwaferanordnung eine ebenfalls optionale Metallisierung 18 aufweist. Der mikromechanische Drehratensensor umfaßt ferner zwei linear gegeneinander schwingende seismische Massen 20a, 20b, die über eine Federeinrichtung, die einen Torsionsbalken 22a sowie Biegebalken 22b aufweist, mit einer Aufhängung 24 verbunden sind. Die beiden seismischen Massen werden mittels zweier gegenphasig betriebener elektrostatischer Antriebsseinheiten 26 und 28 in eine gegenphasige Schwingung versetzt, wie es durch die Pfeile 30 angedeutet ist. Jede elektrostatische Kammantriebseinrichtung 26 und 28 umfaßt einen feststehenden Abschnitt 26a bzw. 28a sowie einen beweglichen Abschnitt 26b bzw. 28b, wobei die beweglichen Abschnitte jeweils mit einer seismischen Masse 20a bzw. 20b verbunden sind.

Wenn der in Fig. 1 gezeigte mikromechanische Drehratensensor um eine Achse, die parallel zu seiner Längsrichtung ist, in Drehung versetzt wird, wie es durch den Pfeil 32 angedeutet

- 9 -

ist, führen die seismischen Massen 20a und 20b aufgrund ihrer gegenphasigen Anregung eine gegenphasige Auslenkung aufgrund der Corioliskraft durch, die mittels Erfassungselektroden 34a, 34b erfaßbar ist. Da die linke seismische Masse 20a von der Substratwaferanordnung 12 durch die Corioliskraft weggezogen wird, wenn die rechte seismische Masse 20b zur Substratwaferanordnung hingezogen wird, bilden die beiden Elektroden 34a, 34b eine Differenzkapazitätserfassung, die von einem ASIC-Baustein 38 über Bonddrähte 40 erfaßt und ausgewertet wird.

Neben den Bonddrähten für die beiden Erfassungselektroden 34a, 34b existieren weitere Bonddrähte zu der der Aufhängung 24 gegenüberliegenden Aufhängung und zu den feststehenden Teilen 28a, 26a der Kammantriebe. Vorzugsweise ist die Anordnung, die aus der seismischen Masse, den Torsionsbalken und der Aufhängung besteht, auf Masse gelegt, derart, daß sowohl für die Anregung als auch für die Erfassung ein festes Referenzpotential vorhanden ist. Die feststehenden Teile der Kammantriebe 28a, 26a werden mit entsprechenden Wechselspannungen beaufschlagt, die über mit der Metallisierung 18 verbundene Bonddrähte von der integrierten Schaltung 38 zugeführt wird.

Fig. 1 zeigt somit einen Drehratensor als Linearschwinger in Schicht- bzw. Waferstapelanordnung mit zwei gegenphasig schwingenden seismischen Massen 20a, 20b, der hybrid integriert ist, d. h. bei dem eine vorgefertigte ASIC-Schaltung zur Anregung und Detektion bzw. Auswertung verwendet wird. Alternativ zu dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel kann statt der beiden Aufhängungen 24 lediglich eine Aufhängung in der Mitte vorgesehen sein, um die seismischen Massen gegenüber der Substratwaferanordnung 12 beweglich zu halten. Alternativ könnte statt den Erfassungselektroden, die eine kapazitive Erfassung durchführen, auch eine piezoresistive Erfassung in Form von implantierten Widerständen in den Torsionsbalken 22a vorgesehen sein. Dann würde die Metallisierung der Substratwaferanordnung 12 nicht benötigt. In

diesem Fall würde es ausreichen, lediglich als Substratwaferanordnung 12 einen Halbleiterwafer zu nehmen, auf den über die Verbindungsschicht 14 als Strukturwaferanordnung ebenfalls ein Halbleiter mit Metallisierung aufgebracht ist. Auf die Metallisierung 18 der Strukturwaferanordnung kann ebenfalls verzichtet werden, wenn ein entsprechendes Anregungs- oder Erfassungsverfahren verwendet wird, das ohne eine solche Metallisierung auskommt.

Fig. 2 zeigt einen Abschnitt der Herstellung des erfindungsgemäßen mikromechanischen Drehratensensors. In der obersten Zeichnung von Fig. 2 ist eine Substratwaferanordnung gezeigt, die einen Substratwafer 12 und eine darauf gebildete und strukturierbare Metallisierung 16 aufweist. Die Substratwaferanordnung 12, 16 ist über die Verbindungsschicht 15 mit dem Strukturwafer 14 verbunden. In der zweiten Zeichnung von Fig. 2 ist zu sehen, daß der Strukturwafer ebenfalls um eine Metallisierung 18 ergänzt werden kann, um eine Strukturwaferanordnung 14, 18 zu bilden. Zunächst wird ein Substratwafer 12 genommen und mit der Metallisierung 16 versehen, aus der dann durch geeignete Strukturierung beispielsweise die Erfassungselektroden 34a, 34b strukturiert werden. Über die Substratwaferanordnung, die den Substratwafer 12 und die Metallisierung 16 aufweist, wird dann die Verbindungsschicht 15 aufgebracht, woraufhin die Strukturwaferanordnung 14, 18 auf die Verbindungsschicht 15 aufgesetzt wird, damit dieselben mechanisch verbunden, beispielsweise verklebt, werden. Vor dem Aufbringen der Metallisierung 18 kann der Strukturwafer gedünnt werden.

Daran anschließend wird, wie es im unteren Bild von Fig. 2 gezeigt ist, die Strukturwaferanordnung 14, 18 behandelt, derart, daß die optionale Metallisierung 18 durch bekannte Techniken definiert wird, um Anschlußflächen für den feststehenden Teil 28a bzw. 26a zu bilden. Dann wird mittels eines Strukturierungsschritts, der vorzugsweise als Trockenätzung ausgeführt wird, die Strukturschicht strukturiert. Somit werden die seismischen Massen 20a, 20b und die ent-

sprechenden Biegebalken, Torsionsbalken, usw. hergestellt.

Für diesen Trockenätzschritt wirkt die Verbindungsschicht 15 als Ätzstopp. Die Verbindungsschicht 15 unter den Komponenten, die frei beweglich sein sollen, dient als Opferschicht und wird in einem anschließenden weiteren Trockenätzschritt entfernt.

Um die Verbindungsschicht 15 unter den üblicherweise flächigen seismischen Massen zu entfernen, werden in dieselben Durchbrüche 21 eingebracht. Diese Durchbrüche 21 werden ebenfalls während des Schritts des Strukturierens gebildet. Mittels eines selektiven Trockenätzverfahrens, das lediglich die Verbindungsschicht 15 ätzt, und das weder Metallmaterialien noch Wafermaterialien angreift, wird die Opferschicht entfernt. Wie es aus der unteren Zeichnung von Fig. 2 zu sehen ist, muß dieses Ätzverfahren bei Verwendung flächiger seismischer Massen ebenfalls eine gewisse laterale Ätzrate haben, derart, daß die seismischen Massen freihängend werden. Werden jedoch keine flächigen Massen eingesetzt, sondern eher stabförmige Massen, so kann auf die Durchbrüche 21 verzichtet werden. In diesem Fall wird die laterale Ätzrate ausreichen, um eher schmale Massen freihängend zu bekommen.

Als Material sowohl für den Substratwafer 12 als auch den Strukturwafer 14 wird vorzugsweise einkristallines Silizium verwendet. Vorzugsweise wird, bevor die Metallisierung 18 auf den Strukturwafer aufgebracht wird, derselbe bis zu einer gewissen Dicke d gedünnt. Erst anschließend wird die Strukturierung durchgeführt. Zum Abdünnen des Wafers können in der Technik bekannte Verfahren verwendet werden. Dieselben bieten einerseits den Vorteil einer preisgünstigen Ausführung und andererseits den Vorteil, daß im wesentlichen alle Elemente des Drehratensensors, die durch die Struktursschicht definiert sind, die gleiche Dicke d haben. Dies macht einen mechanischen Abgleich von Schwingstrukturen nach der Herstellung beispielsweise mittels Laserablation oder ähnlichem unnötig. Die in Fig. 2 gezeigte Anordnung bietet

sich speziell für die erfindungsgemäßen Drehratensensoren an, da die Dicke bzw. Höhe d des Strukturwafers 14 nahezu beliebig und daher auch nahezu beliebig groß eingestellt werden kann, wodurch eine große und damit auch schwere Schwingmasse erhalten wird, die eine höhere Sensorempfindlichkeit liefert. Des Weiteren wird der Sensor mit einer hohen Höhe h störunempfindlicher gegenüber Beschleunigungen senkrecht zu der Waferstapelanordnung und unterdrückt gleichzeitig stärker Levitationseffekte. Neben der erreichbaren großen Höhe d bietet auch einkristallines Silizium bessere Empfindlichkeiten, bessere Langzeitstabilitäten und bessere Dimensionierungsmöglichkeiten.

Fig. 3 zeigt eine zu Fig. 2 ähnliche Anordnung, in der jedoch keine Elektroden 34a, 34b in Form einer Metallisierung des Substratwafers 12 gebildet sind, sondern bei der implantierte Elektroden 35a, 35b gebildet sind. Als Alternative kann der Substratwafer mit Vertiefungen versehen werden, wobei die Metallisierung in diesen Vertiefungen die Elektroden bilden.

Die vergrabenen Elektroden können beispielsweise mittels Implantierens des Substratwafers 12 an den entsprechenden Stellen hergestellt werden. Wie es aus den Fig. 2 und 3 zu sehen ist, befindet sich unter dem feststehenden Teil 26a bzw. 26b ebenfalls eine Metallisierungsschicht 16 (Fig. 2) bzw. 17 (implantierte Schicht mit niedrigem Widerstand, Fig. 3). Dies bedeutet, daß der Substratwafer 12 über die Metallisierungsschicht 16 bzw. 17 mit der Verbindungsschicht 15 und dann mit dem Strukturwafer verbunden ist. Diese Metallisierungsschicht an den Verbindungsstellen ist nicht zwingend erforderlich.

Da jedoch erfindungsgemäß eine Waferstapelanordnung verwendet wird, wobei zunächst der Substratwafer metallisiert wird, um eine Substratwaferanordnung zu bilden, woraufhin die Metallisierung geeignet strukturiert wird, können viele einzelnen Drehratensensoren auf einem "Mutterwafer" struk-

turiert werden. Es ist nicht erforderlich, an den Grenzbereichen der einzelnen Drehratensensoren die angesprochene Metallisierung zu entfernen. Sie könnte jedoch entfernt werden, wenn es erforderlich ist, bzw. eine minimale Höhe der seismischen Massen über dem Substratwafer 12 erforderlich ist, bzw. wenn eine dickere Verbindungsschicht 15 aufgebracht werden soll. Nachdem ein Mutterwafer für die Substratwaferanordnung und ein Mutterwafer für die Strukturwaferanordnung über die Verbindungsschicht verbunden worden sind, und nachdem die Strukturierung und Opferschichtätzung stattgefunden hat, wird die "Mutterwaferstapelanordnung" zerteilt, um die einzelnen mikromechanischen Drehratensensoren zu erhalten, die dann auf das Grundsubstrat 10 aufgeklebt werden und an die integrierte Schaltung 38 angeschlossen werden.

Fig. 4 zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel bezüglich Fig. 3, bei dem eine integrierte Schaltung 44 in die Substratwaferanordnung monolithisch integriert ist. Bei diesem Ausführungsbeispiel kann auf die Bonddrähte 40 verzichtet werden. Die Elektroden 34a, 34b können direkt mit einer darunter oder daneben in den Substratwafer integrierten Schaltungsanordnung verbunden werden, während die Metallisierungen 18 der feststehenden Kammtriebseinrichtungen 26a, 28a noch nach unten mit der Metallisierung der Substratwaferanordnung verbunden werden müssen, wie es durch die Fig. 7 und 8, welche später erläutert werden, angedeutet ist.

Fig. 5 zeigt ein weiteres Beispiel für die Strukturwaferanordnung nach der Strukturierung eines erfindungsgemäßen Drehratensensors. Im Unterschied zu dem in Fig. 1 gezeigten Drehratensensor umfaßt der in Fig. 5 gezeigte Drehratensensor, von dem lediglich die strukturierte Strukturwaferanordnung dargestellt ist, weitere Biegebalken 22c, die die seismischen Massen 20a, 20b verbinden. Der in Fig. 5 gezeigte Linearschwinger, der aus zwei seismischen Massen besteht, die über den Verbindungsbalken 22c gekoppelt sind, zeigt

eine hervorragende Trennung der Schwingungsmoden. Durch die Kopplung 22c haben die gleichphasige und die gegenphasige Schwingung der seismischen Massen unterschiedliche Resonanzfrequenzen. Die großen seismischen Massen 20a, 20b umfassen die mit 21 gekennzeichneten Durchbrüche zur Opferschichtätzung. Durch eine beliebige Höhenvariationsmöglichkeit (d, Fig. 2) kann allein durch die Höhe Einfluß auf die Torsionsbalken 22a genommen werden, während die Höhe hier keinen Einfluß auf die Biegebalken 22b hat, derart, daß allein durch die Einstellung der Höhe die Resonanzfrequenzen aufeinander abgestimmt werden können.

Fig. 6 zeigt einen Drehratensor gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, der lediglich eine einzige seismische Masse 20 aufweist, die kreisförmig ist und über Biegebalken 22a mit der Aufhängung 24 verbunden ist. Entsprechende Kammantriebe 26, die jeweils einen feststehenden Teil 26a und einen mit der seismischen Masse 20 verbundenen beweglichen Teil 26b haben, werden geeignet angesteuert, um eine kreisförmige Anregungsschwingung in der Zeichenebene auszuführen. Der in Fig. 6 gezeigte Rotationschwinger nutzt die Torsion des Schwingers 20 um die Achse x herum sowie die um die y-Achse zur Erfassung von zwei senkrecht aufeinanderstehenden Drehraten. Die Aufhängung 24 ist in der Mitte der seismischen Masse 20 an nur einer Stelle vorgesehen. Die in Richtung der y-Achse gerichtete Drehrate führt zu einer Torsion der seismischen Masse 20 um die x-Achse, während die parallel zur x-Achse gerichtete Drehrate zu einer Verbiegung um die y-Achse der seismischen Masse 20 führt. Die Anregungsschwingung, die durch die Kammantriebe 26 geschaffen wird, findet um die z-Achse herum statt.

Die Fig. 7 und 8 zeigen zwei unterschiedliche Möglichkeiten, wie eine Metallisierungsverbindung von der Substratwaferanordnung, die aus dem Substratwafer 12 und der Metallisierung 16 besteht, zu der Strukturwaferanordnung, die aus dem Strukturwafer 14 und der Metallisierung 18 besteht, erhalten werden kann. In Fig. 7 wird eine Metallisierungsverbindung

46 zum Substratwafer 14 hergestellt, bei der der Strukturwafer entfernt ist. In Fig. 8 wird dagegen während der Strukturierung der Strukturschicht ebenfalls ein Fenster oder Loch 48 in den Strukturwafer 14 eingebracht, das dann durch die Verbindungsметallisierung 46 aufgefüllt wird, um die Metallisierungsebene 16 mit der Metallisierungsebene 18 zu verbinden. Dies hat bezugnehmend auf Fig. 1 den Vorteil, daß alle Bondanschlußflächen des Drehratensensors auf eine Höhe, beispielsweise auf die Höhe der Metallisierung der Substratwaferanordnung, gelegt werden können, um die Bondoperationen zu vereinfachen und damit zuverlässiger zu machen. Alternativ kann unter Verwendung von vergrabenen Elektroden (35a, 35b, Fig. 3) in Verbindung mit einer integrierten Schaltung 44 (Fig. 4) eine Verbindung mittels Leiterbahnen mit den zu kontaktierenden Stellen zu der integrierten Schaltung 44 hergestellt werden, wobei die Schaltung 44 monolithisch in den Substratwafer 12 der Substratwaferanordnung integriert ist.

Obwohl es in den Figuren nicht gezeigt ist, können beliebige Drehratensensorstrukturen hergestellt werden, welche zumindest eine seismische Masse, die als Linear- oder Rotationschwinger ausgeführt sein kann, aufweisen können. Weiterhin kann jede Art von Biegebalken, wie z. B. gefaltete Biegebalken, verwendet werden, um eine Anregungsschwingung mit höherer Amplitude und höherer Geschwindigkeit zur Erhöhung der Meßempfindlichkeit zu erhalten.

Des Weiteren können Drehratensensorstrukturen hergestellt werden, die gleichzeitig zwei senkrecht zueinander stehende Drehraten detektieren können, und es können Drehratensensorstrukturen hergestellt werden, wobei die Detektion der Drehrate in der Strukturwaferebene erfolgt, so daß auf die Metallisierung der Substratwaferanordnung verzichtet werden kann.

Fig. 9 zeigt einen Drehratensensor gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung, der eine seis-

mische Masse 20 aufweist, die über vier Kammantriebe 26, die jeweils einen feststehenden Teil 26a und einen beweglichen Teil 26b aufweisen, in Rotationsschwingung versetzt wird. Die Schwingung ist um die Aufhängung 24 herum gerichtet, welche mittels vier Torsionsbalken 22a bis 22d mit der seismischen Masse 20 verbunden ist.

Im Gegensatz zu dem in Fig. 6 gezeigten Ausführungsbeispiel umfaßt der Drehratensor, der in Fig. 9 gezeigt ist, als seismische Masse die seismische Masse 20 und zwei weitere seismische Massen 21, die über Torsionsbalken mit der seismischen Masse 20 verbunden ist. Wird die gesamte seismische Masse 20, 21 in eine Rotationsschwingung um den Aufhängungspunkt versetzt, und wirkt eine Drehrate auf den Sensor, die zumindest eine Komponente in einer Richtung aufweist, wie sie durch einen Pfeil 52 angedeutet ist, so führt die entstehende Corioliskraft zu einer Auslenkung der beiden weiteren seismischen Massen 21 senkrecht zur Zeichenebene. Im Sinne der vorliegenden Erfindung muß also nicht die gesamte seismische Masse, die angeregt wird, durch die Corioliskraft ausgelenkt werden. Es genügt auch, wenn ein Teil der seismischen Masse ausgelenkt wird, im Beispiel die weiteren seismischen Massen 21.

Die seismischen Massen 21 sind über den Erfassungselektroden 34a, 34b, die in Fig. 9 schematisch angedeutet sind, metallisiert, derart, daß über eine Kapazitätsveränderung zwischen den metallisierten seismischen Massen 21 und den darunterliegenden Elektroden 34a, 34b eine Kapazitätsänderung aufgezeichnet werden kann.

Bei dem in Fig. 9 gezeigten Ausführungsbeispiel führt somit nicht die Torsion der seismischen Masse 20 sondern die Verkippung der beiden weiteren seismischen Massen 21 zur Detektion der Drehrate. Dies hat bei Verwendung einer elektrostatischen Anregung den Vorteil, daß sich bei einer Verkippung der weiteren seismischen Massen 21 die Kapazität der Anregungsstrukturen nicht ändert. Dabei muß darauf geachtet wer-

den, daß die Aufhängung 24 im Mittelpunkt so steif ist, daß die seismische Masse 20 nicht durch die Corioliskraft verkippt wird, sondern daß lediglich über die Torsionsbalken 25 die seismischen Massen 21 kippen. Somit kann die Anregungsschwingung von der Detektionsschwingung entkoppelt werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß unter Umständen erforderliche Durchbrüche 21 sowohl für die seismische Masse 20 als auch für die äußeren Massen 21 aus Übersichtlichkeitsgründen nicht eingezeichnet sind. Sollte die laterale Ätzrate des verwendeten Prozesses nicht ausreichen, um die in Fig. 9 gezeichneten Strukturen der Strukturwaferanordnung zu ätzen, so müssen an entsprechenden Stellen die Durchbrüche 21 vorgesehen werden.

Fig. 10 zeigt eine Querschnittsansicht durch eine erfindungsgemäße Drehratensorstruktur, die der Querschnittsansicht von Fig. 2 ähnelt, bei der jedoch ein Deckelwafer 54 vorhanden ist, der über eine weitere Verbindungsschicht 56 mit der Strukturwaferanordnung, beim Beispiel in Fig. 10 mit der oberen Metallisierung 18, verbunden ist. Fig. 10 zeigt somit eine Erweiterung der Waferstapelanordnung um den Deckelwafer 54, der vorprozessiert sein kann, um beispielsweise die in Fig. 10 dargestellte Ausnehmung 55 über der seismischen Masse 20a und der seismischen Masse 20b zu haben. Derselbe dient dazu, die Strukturwaferanordnung und darüber hinaus den gesamten Drehratensor zu schützen und/oder die Kavität zwischen dem Deckelwafer 54 und dem Substratwafer zu evakuieren. Die Evakuierung hat den Vorteil, daß bewegliche Teile der Strukturwaferanordnung nicht durch einen Luftwiderstand beeinflußt werden. Alternativ könnte die Kavität mit einem bestimmten Fluid befüllt werden, um eine definierte Dämpfung der beweglichen Strukturen herzustellen.

Gegenüber bekannten mikromechanischen Drehratensorstrukturen, die keine Waferstapelanordnung aufweisen, bietet das erfindungsgemäße Konzept der Waferstapelung zur Herstellung von mikro-

mechanischen Drehratensensoren eine Fülle von Vorteilen, von denen nur einige im nachfolgenden genannt werden:

- Die Schicht- bzw. Waferstapelanordnung, sowie das Strukturieren der Drehratensensoren kann einfach, schnell und kostengünstig durchgeführt werden und ist für die Massenherstellung geeignet, so daß sich Wettbewerbsvorteile ergeben können.
- Für die Schichten bzw. Wafer können verschiedenste Materialien und Halbleitermaterialien benutzt werden, v. a. kann einkristallines Silizium für die Strukturschicht bzw. -wafer verwendet werden.
- Die Schicht- bzw. Waferverbindung, die gleichzeitig den Abstand der Substrat- und Strukturschichten bzw. -wafer definiert, kann mit großer Variationsmöglichkeit bezüglich der Dicke eingestellt werden, was bei einer kapazitiven Detektionseinheit vorteilhaft ist.
- Für die Schicht- bzw. Waferverbindung können verschiedene Polymere verwendet werden (Polyimide, Epoxidharze, Thermoplaste), oder andere organische Materialien, die in selektiven Ätzschritten, v. a. in einem Trockenätzprozess teilweise wieder entfernt werden können.
- Die mögliche Nutzung von Trockenätzprozessen führt zu keinem "Sticking", d. h. Kleben, der freigeätzten Strukturen am Substrat.
- Das Dünnen der großflächigen Strukturschicht bzw. -wafer führt zu einheitlichen Höhen der Strukturelemente und ermöglicht die abgleichfreie Herstellung von Drehratensensoren.
- Das Dünnen der Strukturschicht bzw. -wafer, und damit die Höheneinstellung der Struktur erfolgt durch einfache Verfahren, wie z. B. schleifen und polieren.

- Die Vorteile der Oberflächenmikromechaniktechnologien zur Strukturierung der Sensorstruktur können ohne Einschränkung genutzt werden.
- Die in Oberflächenmikromechanik hergestellten Drehratesensoren sind aufgrund ihrer kleinen Größe und aufgrund von möglichen hohen Balkenstrukturen robust gegenüber Schockbelastungen.
- Die Struktur kann in einem Ätzschritt definiert werden und besteht aus einem Teil.
- Die Höhe der Struktur kann mit großer Variationsmöglichkeit eingestellt werden.
- Durch die Einstellung der Höhe der Struktur sind verschiedene Auflösungsvermögen einstellbar.
- Durch große Höhen sind große Massen realisierbar und daher große Meßeffekte und Empfindlichkeiten erreichbar
- Durch große Höhen werden Störeffekte, wie z. B. Levitation, besser unterdrückt.
- Durch die große Höhe können Linearbeschleunigungen senkrecht zur Schicht- bzw. Waferstapelanordnung besser unterdrückt werden.
- Durch große Höhen sind großflächige Kapazitätsanordnungen zur Schwingungsanregung möglich und daher nur geringe Versorgungsspannungen nötig.
- Ein optimales Aspektverhältnis kann durch die große Variation der Höheneinstellung und Nutzung der Oberflächenmikromechaniktechnologien eingestellt werden, wodurch optimale Designfreiheit erreicht werden kann.

- Durch die große Designfreiheit können die Resonanzfrequenzen der beiden Schwingungen (Anregungs- und Detektionsschwingung) optimal aufeinander abgestimmt werden. Dies ist nötig, da die Anregung bei der Resonanzfrequenz erfolgen soll, damit eine große Auslenkung erreicht werden kann, und damit ein großer Meßeffekt.
- Das optimal einstellbare Aspektverhältnis der Struktur führt zu einer hohen Selektivität in den verschiedenen Schwingungsmoden.
- Da die Höhe der Struktur keinen Einfluß auf die Biegung von Biegebalken in der Schichtebene hat, aber einen linearen Einfluß auf die Torsion, können durch die Höheneinstellung die Resonanzfrequenzen von Torsionsbalken auf die der Biegebalken abgestimmt werden.
- Bei Verwendung von einkristallinem Silizium tauchen keine Alterungs- und Ermüdungserscheinungen des Materials auf.
- Bei Verwendung von einkristallinem Silizium tauchen keine Verspannungen der freigeätzten Sensorstruktur auf.
- Einkristallines Silizium hat optimale mechanische und elektrische Eigenschaften.
- Bei Verwendung von einkristallinem Silizium ist die monolithische Integration der Elektronik leicht möglich.
- Durch die Schicht- bzw. Waferstapelanordnung sind dreidimensionale Aufbauten des mechanischen Elementes, der Detektionseinheit und der Auswerteschaltung möglich.
- Durch das Herstellungsverfahren sind gute Reproduzierbarkeiten möglich und damit kostengünstige Drehratensensoren.
- Die Reihenfolge, zuerst die Schichten bzw. Wafer zu ver-

- 21 -

binden, und dann die Strukturschicht bzw. -wafer zu strukturieren führt zu keinem nötigen Abgleich der mechanischen Elemente bezüglich der Schwingeigenschaften.

- Das verwendete organische Material zur Schicht- bzw. Waferverbindung dient weiter als Ätzstopp, Opferschicht und Abstandsschicht um freistehende Strukturen zu erhalten.
- Es können unterschiedlichste Anregungs- und Detektioneinheiten benutzt werden.
- Bei Verwendung einer kapazitiven Detektionseinheit können die Elektroden auf den Substratwafer angebracht oder in demselben vergraben werden.
- Bei vergrabenen Elektroden erhält man eine plane Fläche für die Schicht- bzw. Waferverbindung.
- Als Elektroden können Metalle oder dotierte Bereiche in der Substratschicht verwendet werden.
- Die benötigte Auswerteschaltung kann monolithisch integriert werden oder durch hybride Integration realisiert werden.
- Bei einer kapazitiven Detektionseinheit mit Hybridintegration der Auswerteschaltung kann das nötige Bonden auf der unteren Elektrode durch eine Verbindung zur oberen Leitungsschicht auch auf der oberen Elektrode stattfinden.
- Durch das Strukturieren von Löchern oder Fenster in die Strukturschicht bzw. -wafer, und das anschließende Auffüllen mit leitendem Material wie Metall kann die Bondverbindung auf der Oberfläche der Strukturschicht erfolgen.

PATENTANSPRÜCHE

1. Mikromechanischer Drehratensor mit Waferstapelanordnung, mit folgenden Merkmalen:
 1. einer Substratwaferanordnung (12, 16);
 2. einer Strukturwaferanordnung (14, 18), in der wenigstens eine seismische Masse (20; 20a, 20b), deren Aufhängung (24) und mindestens eine Federeinrichtung (22a, 22b; 22c) zum Verbinden der Aufhängung (24) mit der seismischen Masse definiert sind; und
 3. einer isolierenden organischen Verbindungsschicht (15), die die Substratwaferanordnung mit der Strukturwaferanordnung mechanisch verbindet, derart, daß die seismische Masse eine Anregungsschwingung und zumindest ein Teil der seismischen Masse eine Erfassungsschwingung aufgrund einer Drehrate relativ zu der Substratwaferanordnung (12, 16) ausführen kann.
2. Mikromechanischer Drehratensor gemäß Anspruch 1, bei dem die Substratwaferanordnung (12, 16) einen Substratwafer (12) und eine Metallisierung (16) auf der organischen Verbindungsschicht (15) zugewandten Seite des Substratwafers (12) aufweist, wobei die Metallisierung (16) flächige Erfassungselektroden (34a, 34b) unter der seismischen Masse (20; 20a, 20b) aufweist, um eine kapazitive Erfassungseinrichtung der Erfassungsschwingung aufgrund der Corioliskraft zu erhalten.
3. Mikromechanischer Drehratensor gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem die Strukturwaferanordnung (14, 18) ferner eine Kammtriebseinrichtung (26, 28) zur Erzeugung einer Anregungsschwingung der seismischen Masse (20; 20a, 20b) aufweist, wobei ein feststehender Teil (26a, 28a) der Kammtriebseinrichtung eine Me-

- 23 -

tallisierung (18) aufweist, durch die eine elektrische Spannung an die Kammantriebseinrichtung anlegbar ist.

4. Mikromechanischer Drehratensor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die seismische Masse (20; 20a, 20b) Durchbrüche (21) aufweist, die derart angeordnet sind, daß die organische Verbindungsschicht (15) unter der seismischen Masse unter Verwendung einer lateralen Ätzung entfernt werden kann, derart, daß die seismische Masse die Anregungsschwingung und zumindest ein Teil der seismischen Masse die Erfassungsschwingung relativ zur Substratwaferanordnung (12, 16) ausführen kann.
5. Mikromechanischer Drehratensor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Substratwaferanordnung vergrabene Elektroden (35a, 35b) unter der seismischen Masse (20a, 20b) aufweist.
6. Mikromechanischer Drehratensor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem sowohl die Substratwaferanordnung als auch die Strukturwaferanordnung einen Halbleiterwafer (12, 14) aus einkristallinem Silizium aufweisen können.
7. Mikromechanischer Drehratensor gemäß einem der Ansprüche 3 bis 6, bei dem Abschnitte der Metallisierung (16) der Substratwaferanordnung und der Metallisierung (18) der Strukturwaferanordnung über eine Verbindungs-metallisierung (46) verbunden sind, derart, daß Anschlußflächen für den Drehratensor auf einer gleichen Höhe bezüglich der Substratwaferanordnung (12, 16) sind.
8. Mikromechanischer Drehratensor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Dicke (d) der Strukturwaferanordnung (14, 18) höchstens das 50-fache der Dicke der organischen Verbindungsschicht (15) und

vorzugsweise das 20- bis 30-fache beträgt.

9. Mikromechanischer Drehratensensor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem in der Strukturwaferanordnung eine Mehrzahl von seismischen Massen (20a, 20b) definiert ist.
10. Mikromechanischer Drehratensensor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, der ferner folgendes Merkmal aufweist:

eine in der Substratwaferanordnung monolithisch integrierte Anregungs- und Auswertungsschaltung (44).
11. Mikromechanischer Drehratensensor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die organische Verbindungsschicht (15) aus einem Polymer besteht.
12. Mikromechanischer Drehratensensor gemäß Anspruch 11, bei dem die organische Verbindungsschicht Polyimid, Epoxidharz oder Thermoplaste aufweist.
13. Mikromechanischer Drehratensensor gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, der ferner einen Deckelwafer (54) aufweist, der mit der Strukturwaferanordnung (14, 18) verbunden ist, derart, daß ein Hohlraum zwischen der Substratwaferanordnung (12, 16) und dem Deckelwafer (54) gebildet wird.
14. Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Drehratensensors mit folgenden Schritten:
 - a) Bereitstellen einer Substratwaferanordnung (12, 16);
 - b) Bereitstellen einer Strukturwaferanordnung (14, 18);

- 25 -

- c) mechanisches Verbinden der Substratwaferanordnung und der Strukturwaferanordnung mittels einer isolierenden organischen Verbindungsschicht (15), um eine Waferstapelanordnung zu erhalten;
 - d) Strukturieren der Strukturwaferanordnung der Waferstapelanordnung, um wenigstens eine seismische Masse (20; 20a, 20b), eine Aufhängung (24) und eine Federeinrichtung (22a, 22b; 22c) zum Verbinden der Aufhängung (24) mit der seismischen Masse (20; 20a, 20b) zu definieren; und
 - e) Entfernen der organischen Verbindungsschicht (15) zumindest unter der seismischen Masse, derart, daß die seismische Masse eine Anregungsschwingung und zumindest ein Teil derselben eine Erfassungsschwingung aufgrund einer Drehrate relativ zur Substratwaferanordnung ausführen kann.
15. Verfahren gemäß Anspruch 14, bei dem der Schritt a) folgende Teilschritte aufweist:

Bereitstellen eines Halbleiterwafers (12);

Metallisieren (16) des Halbleiterwafers (12); und

Strukturieren der Metallisierung (16), um zumindest eine Elektrode (34a, 34b) zu bilden, die unter der seismischen Masse (20; 20a, 20b) plaziert ist, um die Substratwaferanordnung (12, 16) zu erhalten.

16. Verfahren gemäß Anspruch 14, bei dem der Schritt a) folgende Teilschritte aufweist:

Bereitstellen eines Halbleiterwafers (12);

Bilden einer vergrabenen Elektrode (35a, 35b) in dem Halbleiterwafer (12), die unter der seismischen Masse

(20; 20a, 20b) plaziert ist, um die Substratwaferanordnung zu erhalten.

17. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 14 bis 16, bei dem der Schritt d) durch Trockenätzen der Strukturwaferanordnung ausgeführt wird, wobei die organische Verbindungsschicht (15) als Ätzstopp wirkt.
18. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 14 bis 17, bei dem der Schritt e) durch Trockenätzen ausgeführt wird, wodurch lediglich die organische Verbindungsschicht selektiv geätzt wird.
19. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei dem im Schritt d) eine Mehrzahl von Durchbrüchen (21) in die seismische Masse (20a, 20b) strukturiert wird, und bei dem im Schritt e) die organische Verbindungsschicht (15) in den Durchbrüchen und lateral unter den Durchbrüchen weggeätzt wird.
20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 14 bis 19, das vor dem Schritt b) ferner folgenden Schritt aufweist:

Dünnen der Strukturwaferanordnung (14) auf eine vorbestimmte Dicke (d), um zusammen mit der lateralen Ausdehnung der in dem Schritt d) definierten Elemente eine Federkonstante der Federeinrichtung und die Masse der seismischen Masse festzulegen.

21. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 14 bis 20, das ferner vor dem Schritt a) folgenden Schritt aufweist:

monolithisches Integrieren einer Anregung- und Auswertungsschaltung (44) für den mikromechanischen Drehratensensor in den Substratwafer (12) der Substratwaferanordnung (12, 16).

1/5

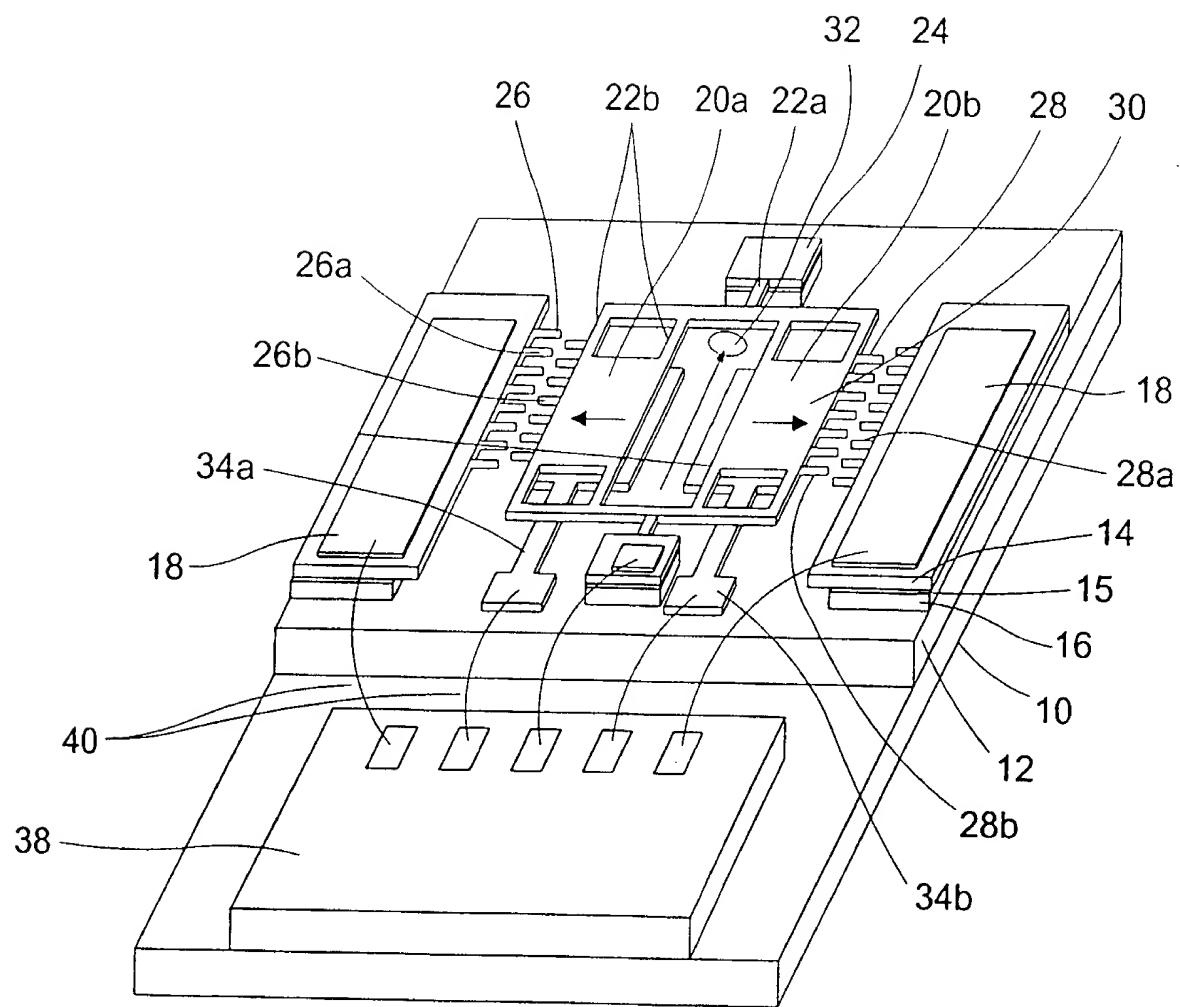
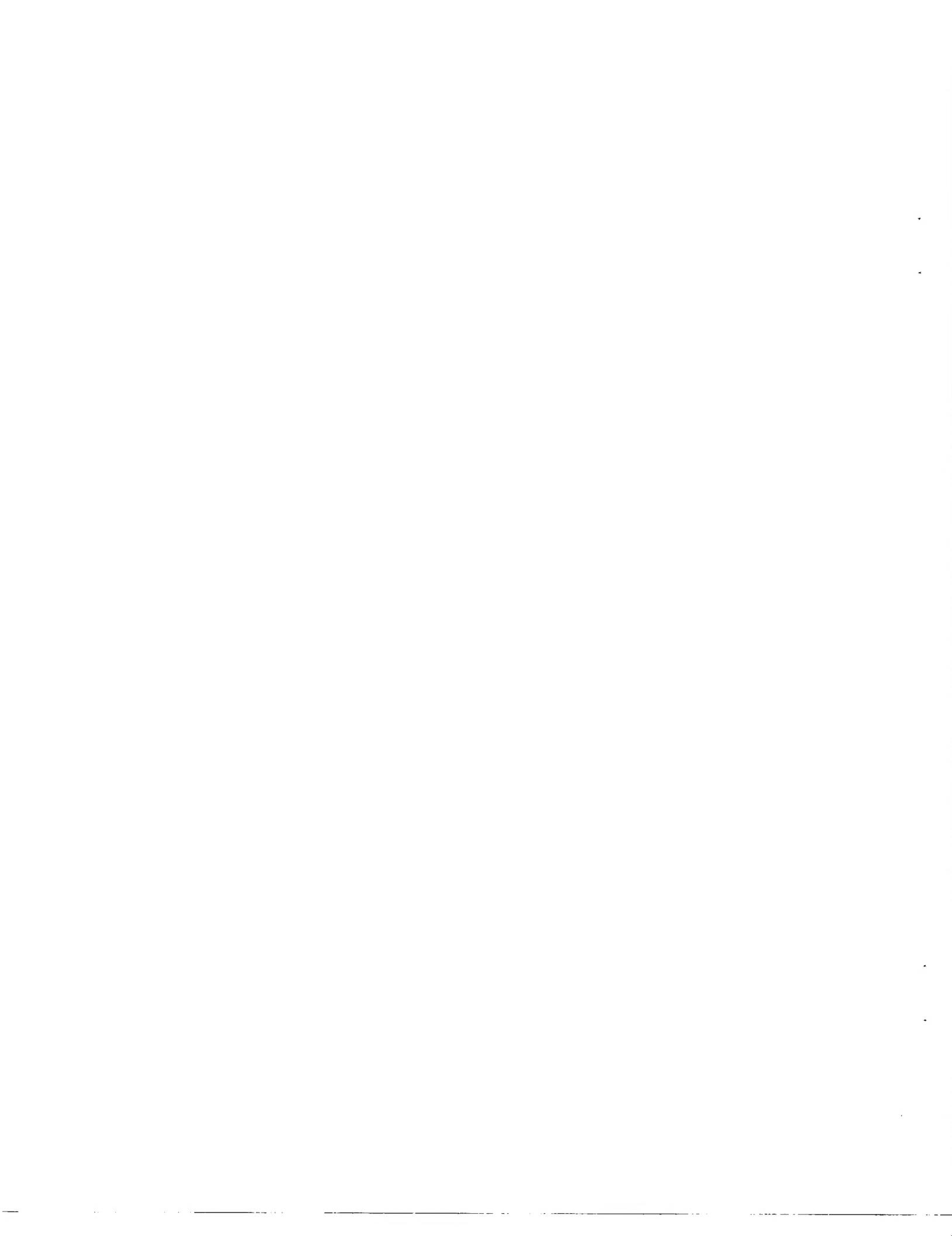


FIG.1



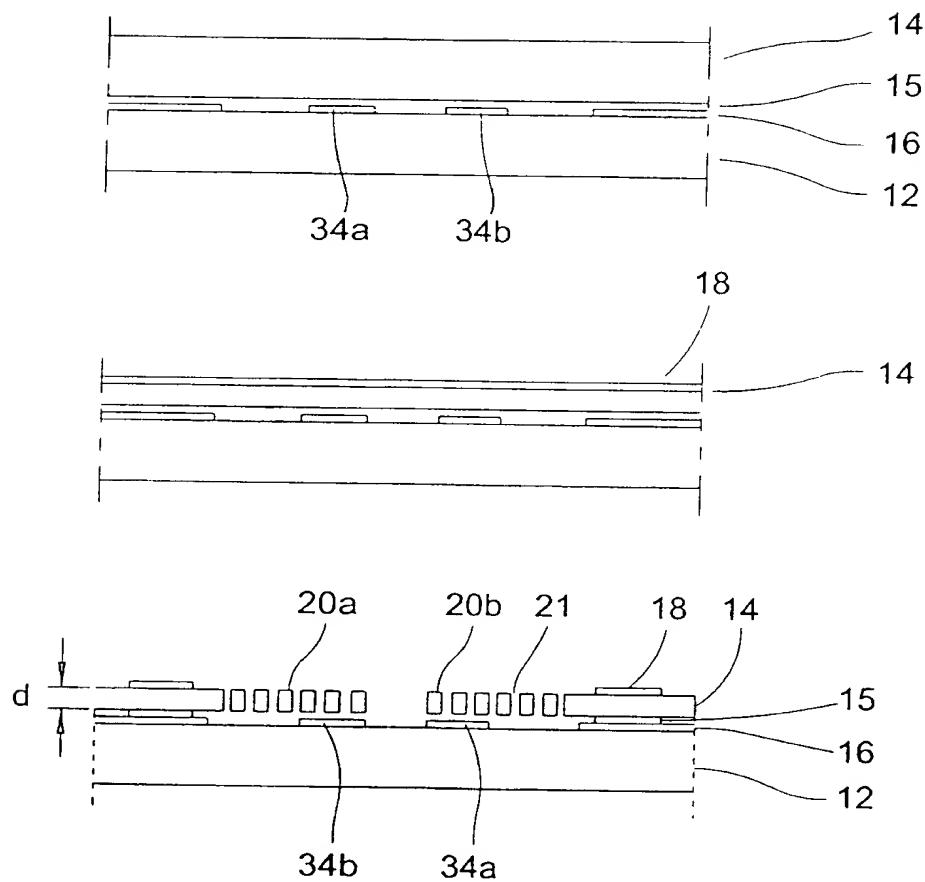


FIG.2

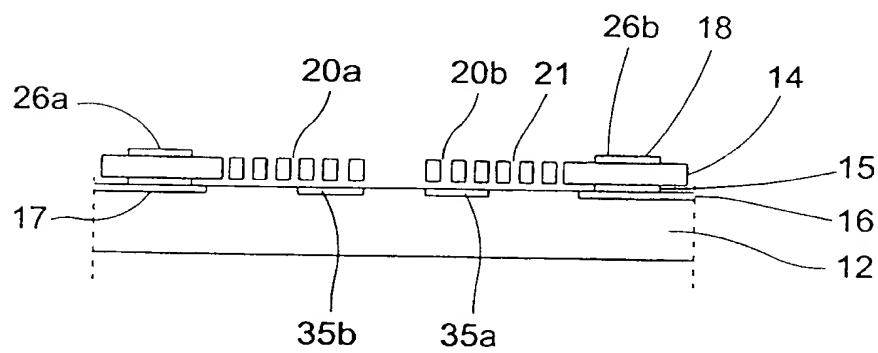
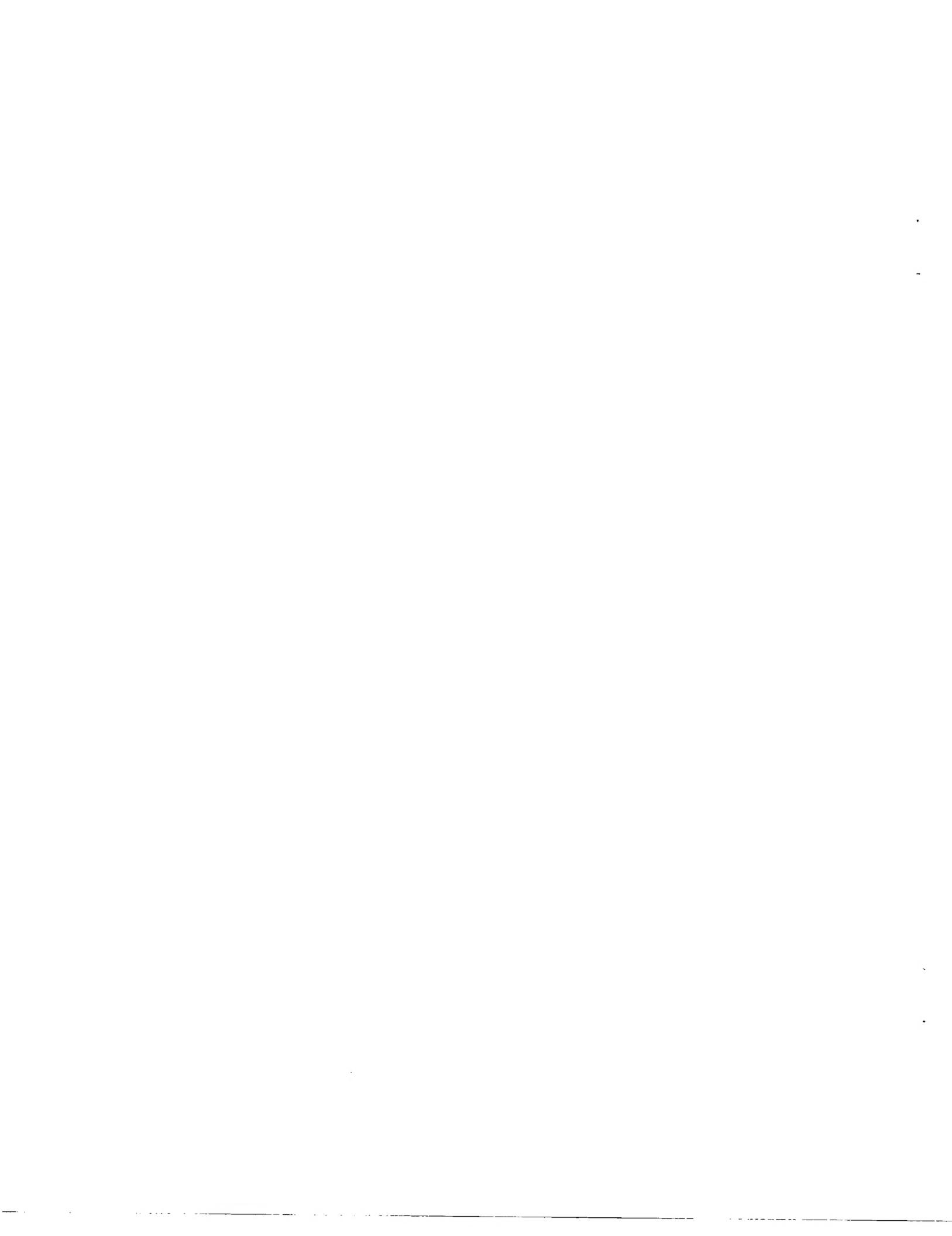


FIG.3



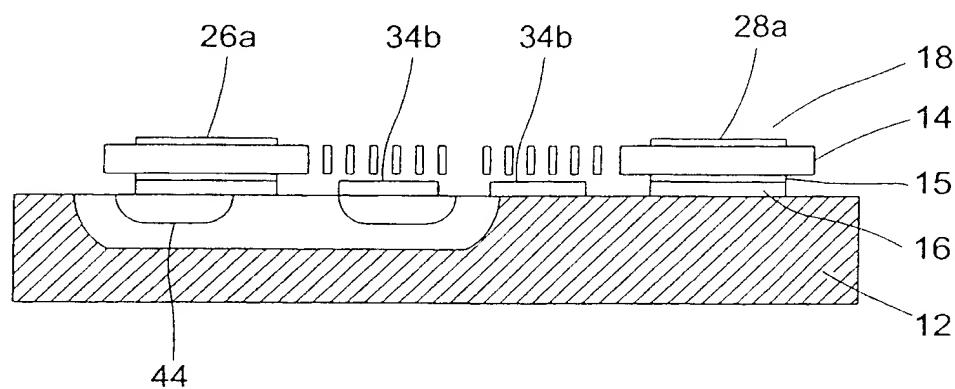


FIG.4

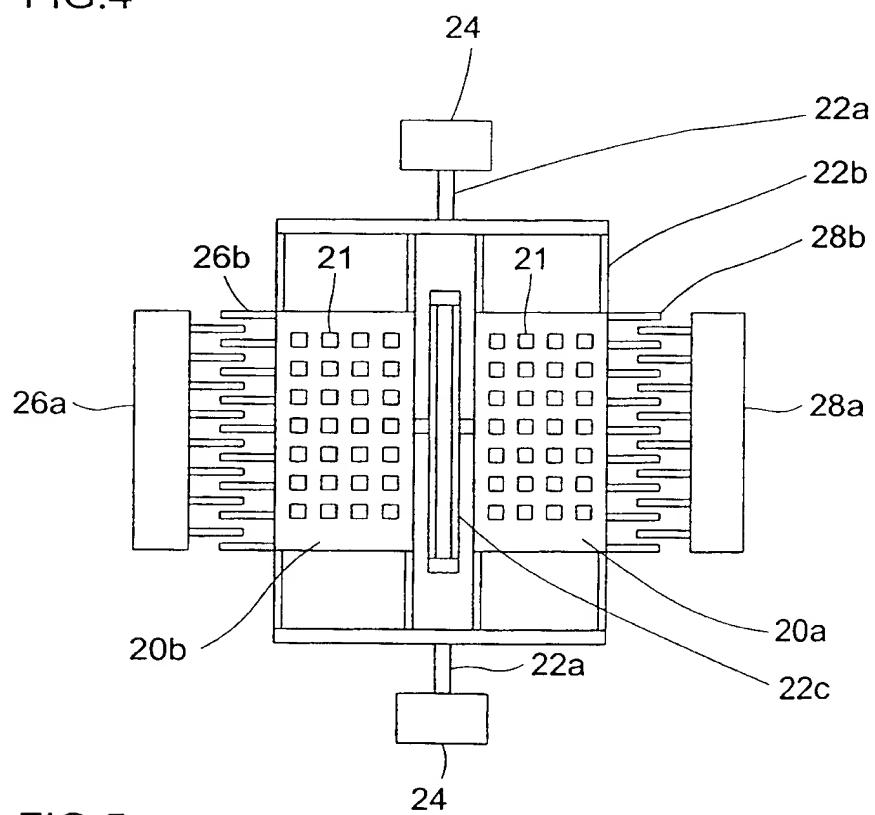
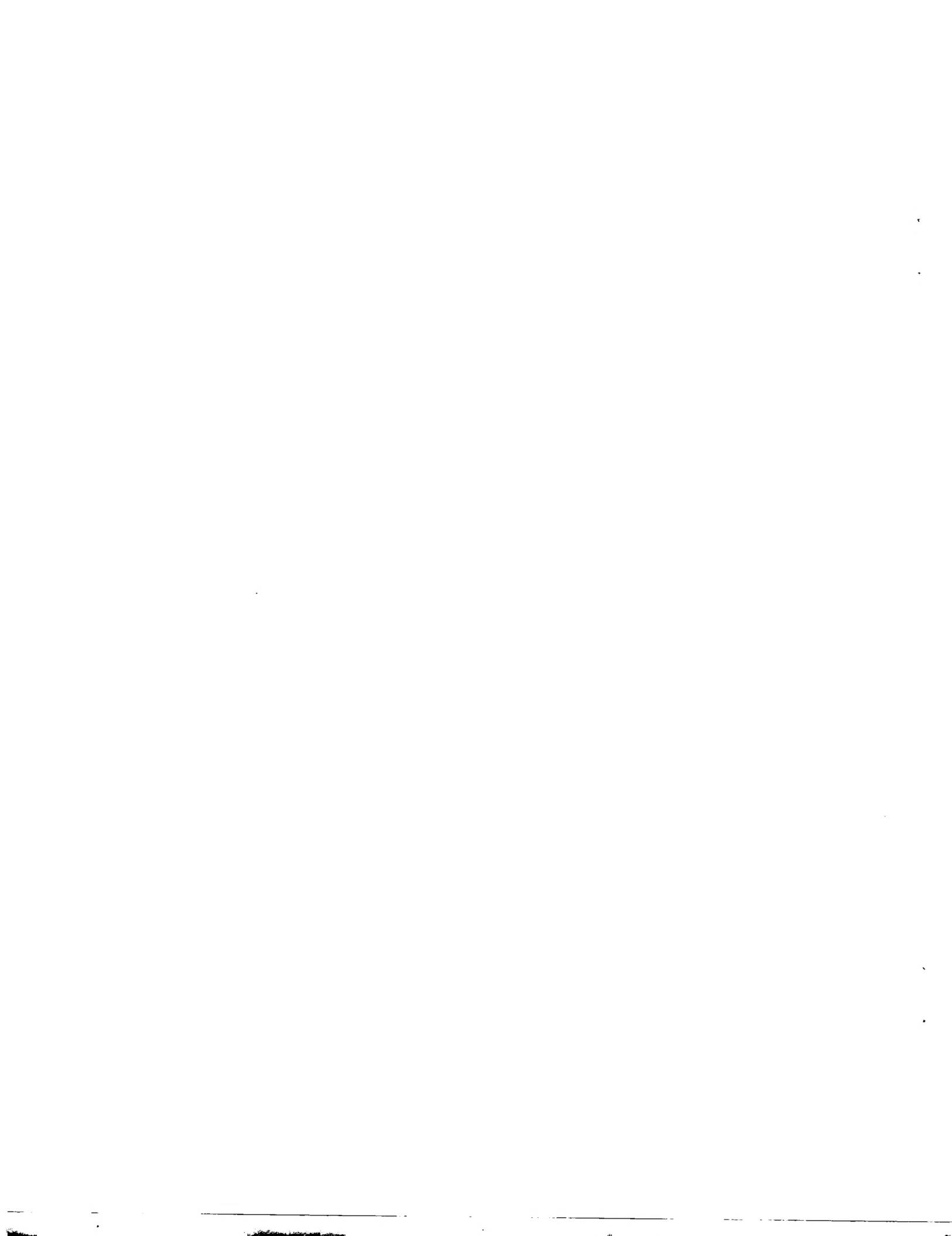


FIG.5



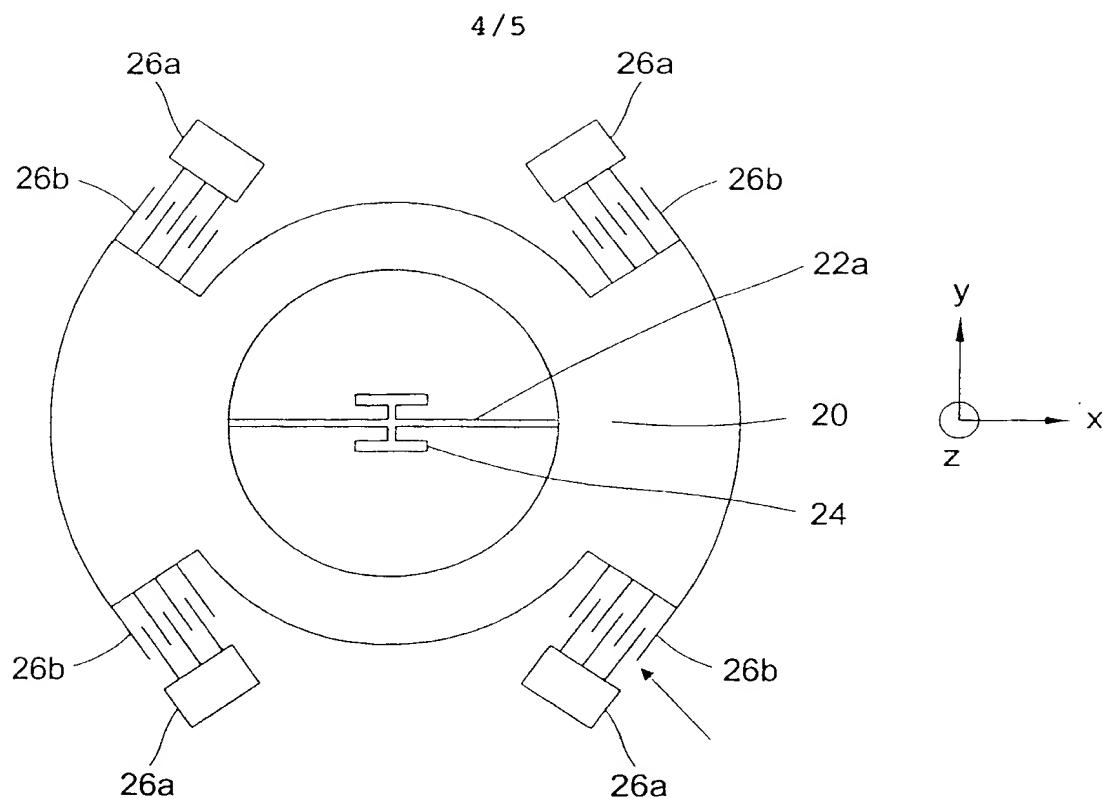


FIG.6

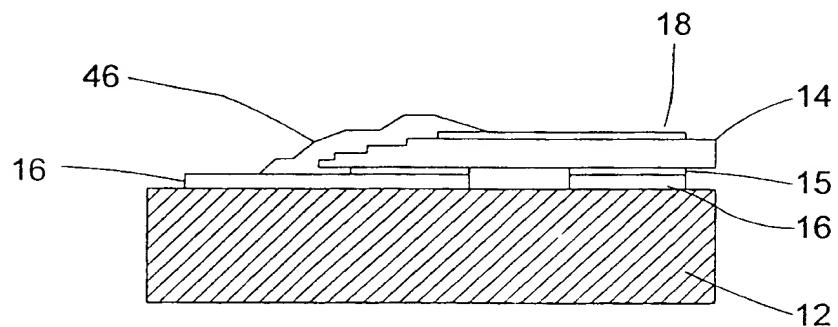


FIG.7

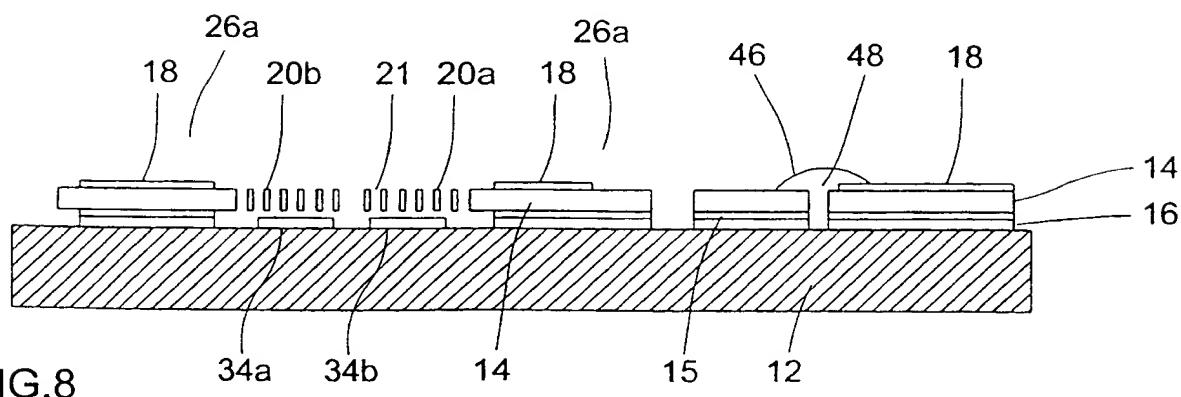


FIG.8



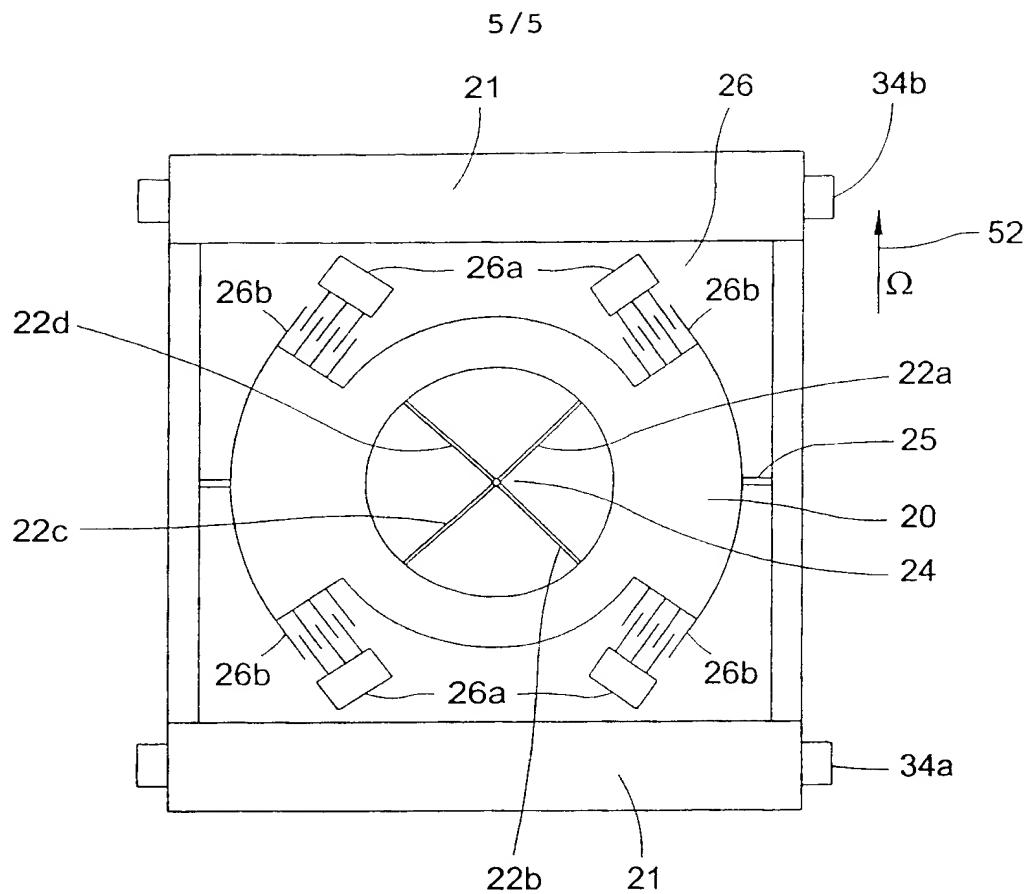


FIG.9

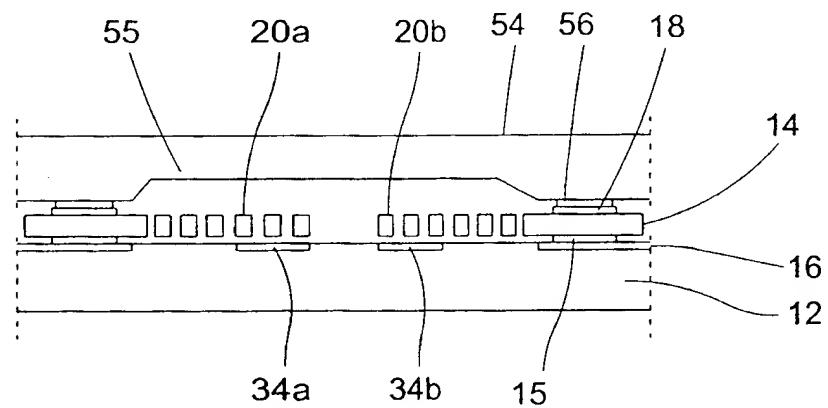


FIG.10

